Nicolae Sfetcu

Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației

Colecția ESEURI

MultiMedia Publishing

Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației

Nicolae Sfetcu

29.11.2017

Sfetcu, Nicolae, Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației", SetThings (29 noiembrie 2017), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.22061.38888, ISBN: 978-606-033-172-8, URL = https://www.telework.ro/ro/e-books/controversa-dintre-isaac-newton-si-robert-hooke-despre-prioritatea-legea-gravitatiei/

Abstract

Una din cele mai disputate controverse privind prioritatea unor descoperiri științifice este cea privind legea gravitației universale, între Isaac Newton și Robert Hooke. În acest eseu extind o lucrare mai veche pe aceeași temă, ”Isaac Newton vs. Robert Hooke în legea gravitației universale”. Hooke l-a acuzat pe Newton de plagiat, preluându-i ideile exprimate în lucrările anterioare. În această lucrare încerc să arăt, pe baza unor analize anterioare, că ambii oameni de știință au greșit: Robert Hooke pentru că teoria sa nu era în fond decât idei care nu s-ar fi materializat niciodată fără suportul matematic al lui Isaac Newton; iar acesta din urmă a greșit nerecunoscând niciun merit al lui Hooke în elaborarea teoriei gravitației. Mai mult, după moartea lui Hooke și preluarea prezidenției Societății Regale, Newton a înlăturat orice urmă din instituție a fostului președinte, Robert Hooke. De asemenea, La negarea contribuției lui Hooke a contribuit și statutul său social ”inferior”, fiind poreclit de contemporani ”mecanicul”, spre deosebire de Sir Isaac Newton cel nobil. Pentru aceasta detaliez acuzațiile și argumentele fiecăreia dintre părți, și cum a fost percepută această dispută de către contemporanii celor doi. Finalizez lucrarea cu concluziile desprinse din cuprins.

Cuvinte cheie: Isaac Newton, Robert Hooke, legea gravitației, prioritate, plagiat

Introducere

Încă din antichitate, Aristotel a reprezentat Universul sub forma unor sfere concentrice transparente, cu Pământul în centru, apoi, spre exterior, sferele Lunii, planetelor, și stelele fixe. Dar nu a încercat să dea nicio explicație puterii care oferea stabilitate acestui sistem cosmic. A afirmat doar că există undeva, ceva, o energie primă, interpretat ulterior ca o credință într-un Dumnezeu creativ. Aristotel considera că sferele au fiecare un număr egal de zei pentru care au grijă de ele. Apoi Copernic sistemul cosmologic geocentric cu un sistem heliocentric, iar Kepler a sistematizat matematic legile mișcării planetelor în jurul Soarelui. Dar niciunul din cei doi nu a scos un cuvânt referitor la forța care ține în echilibru acest sistem uriaș. Descartes a încercat să răspundă la aceste întrebări într-un mod mecanicist, prin forța de impact și existența unei substanțe invizibile - vortexul cartezian.

În a doua jumătate a secolului al XVII-lea se evidențiază o pleiadă de gânditori ai Revoluției Științifice, precum Robert Boyle, Christiaan Huygens, Robert Hooke, Isaac Newton, Gottfried Wilhelm Leibniz, etc. În această perioadă au apărut numeroase controverse referitor la proprietatea intelectuală și disputele despre prioritatea științifică a unor descoperiri. (Guicciardini, 2005)

Teoria modernă a gravitației a început cu lucrările lui Galileo Galilei, cu faimoasele sale experimente a bilelor aruncate din turnul din Pisa și lăsate să se rostogolească pe un plan înclinat. A constatat astfel că gravitația este aceeași pentru toate obiectele, diferențele apărând doar datorită rezistențelor diferite la aer pe parcursul căderii. (Bongaarts, 2014)

Pe baza experimentelor lui Galilei, Newton dezvoltă teoria gravitației pe care o prezintă în prima carte *Principia* din 1686. Imediat după apariția cărții, Robert Hooke l-a acuzat pe Newton de plagiat, susținând că acesta și-a însutit necuvenit "noțiunea" lui de "regula diminuării gravității direct reciprocă cu pătratele distanțelor de la centru". Dar, conform lui Edmond Halley, Hooke a

fost de acord că "demonstrarea curbelor generate de aceasta" aparține în întregime lui Newton. (Nauenberg M. , 2005)

În felul acesta, a apărut întrebarea în ce măsură Isaac Newton s-a ”inspirat” din lucrările anterioare ale lui Robert Hooke, și cui trebuie să i se atribuie prioritatea asupra legii gravitației universale. Unii istorici ai științei evidențiază geniul matematic al lui Newton fără de care legea gravitației nu ar fi fost niciodată finalizată, pe când alții au remarcat contribuția "mecanicului de geniu" (Hooke) căruia i-a fost refuzat locul cuvenit în Westminster Abbey de un tiran puritan (Newton).

O dezbatere îndelung discutată de atunci până în zilele noastre.

Contribuția lui Robert Hooke la legea gravitației universale

Robert Hooke și-a publicat ideile despre gravitație în cartea "*Sistemul lumii*" în 1660, citind apoi în fața Societății Regale, în 1666, o lucrare "*Despre gravitație*", ”referitor la inflexiunea unei mișcări directe într-o curbă de către principiu atractiv de schimbare," dezvoltând-o în o altă lucrare din 1674 (An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations, n.d.). El a anunțat că intenționează să "explice un sistem al lumii care diferă în multe detalii de oricare altul cunoscut încă". (Purrington, 2009) Astfel, a prezentat în mod clar atracțiile reciproce dintre Soare și planete, invers proporționale cu distanța dintre corpuri (*NB: proporționalitate liniară, nu cu pătratul distanțelor*), împreună cu un principiu al inerției liniare.

Dar expunerea lui Hooke nu era universală, și nu a oferit demonstrații matematice. Hooke însuși a declarat în 1674: "Acum, ceea ce sunt aceste mai multe grade [de atracție], nu am verificat încă experimental"..."Doar acest lucru îmi amintesc în prezent", "având eu însumi multe alte lucruri de făcut pe care le-aș completa mai întâi și, prin urmare, nu pot participa atât de bine la ea" (la "a cerceta această investigație"). (An Attempt to Prove the Motion of the Earth from

Observations, n.d.) Pe 6 ianuarie 1679|80 [1] scriindu-i lui Newton, Hooke și-a exprimat "presupunerea ... că atracția este întotdeauna într-o proporție dublă față de distanța de la centrul reciproc și, prin urmare, viteza va fi într-o proporție subduplicată față de atracție și în consecință, așa cum presupune Kepler, reciproc cu distanța". (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960) (Inferența vitezei era incorectă. (Wilson, 1989)) Hooke a mai menționat în această corespondență, pe 24 noiembrie 1679, o abordare a "compunerii mișcărilor cerești ale planetelor cu o mișcare tangentă de atracție spre corpul central". (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Contribuția lui Isaac Newton la legea gravitației universale

În 1687, Isaac Newton a publicat *Principia*, în care demonstrează că forța de atracție dintre două corpuri este proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu distanța dintre ele, respectiv legea gravitației universale: "am dedus că forțele care țin planetele în orbitele lor trebuie să fie reciproce cu pătratele distanțelor lor față de centrele pe care se învârt: și astfel am comparat forța necesară pentru a păstra Luna pe orbita ei cu forța de gravitație de la suprafața Pământului: și am găsit răspunsul destul de aproape." (Chandrasekhar, 2003) :

$$\mathbf{F = G \cdot m_1 m_2 / r^2}$$

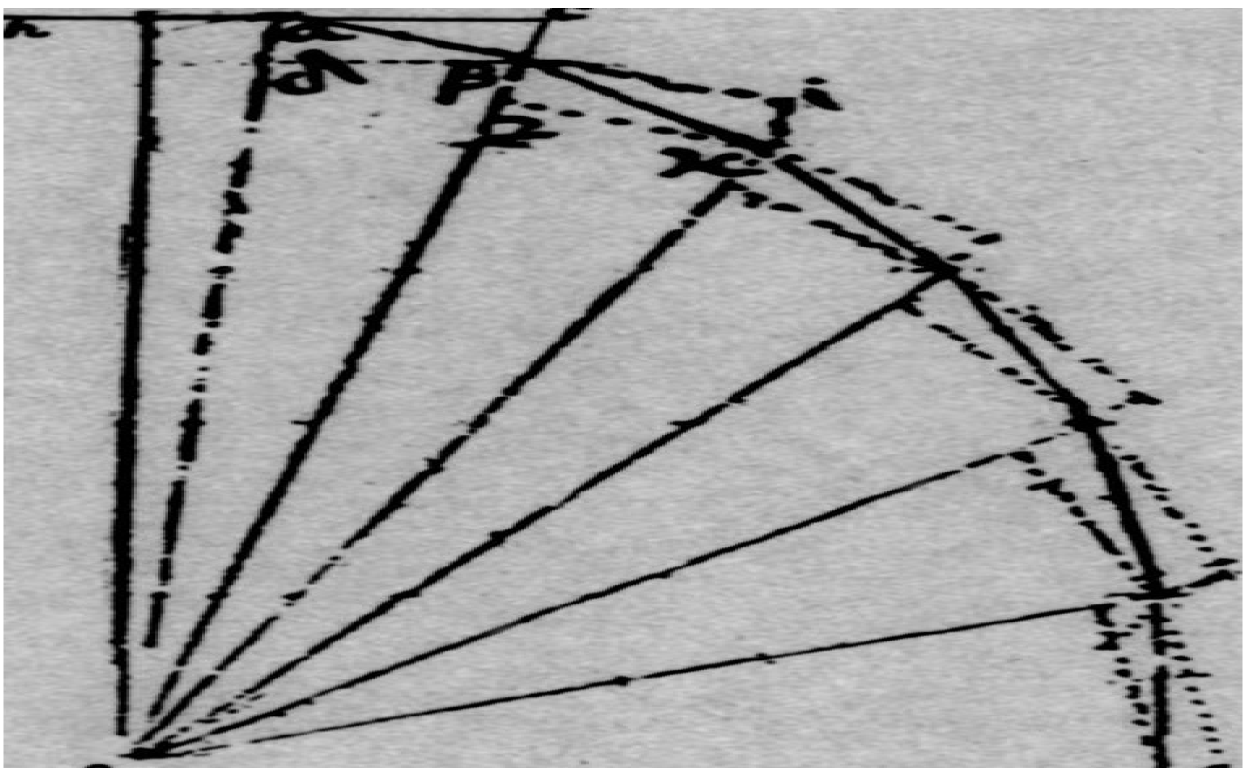
unde F este forța, m_1 și m_2 sunt masele obiectelor care interacționează, r este distanța dintre centrele maselor și G este constanta gravitațională.

Acuzația lui Robert Hooke privind prioritatea sa asupra legii gravitației universale

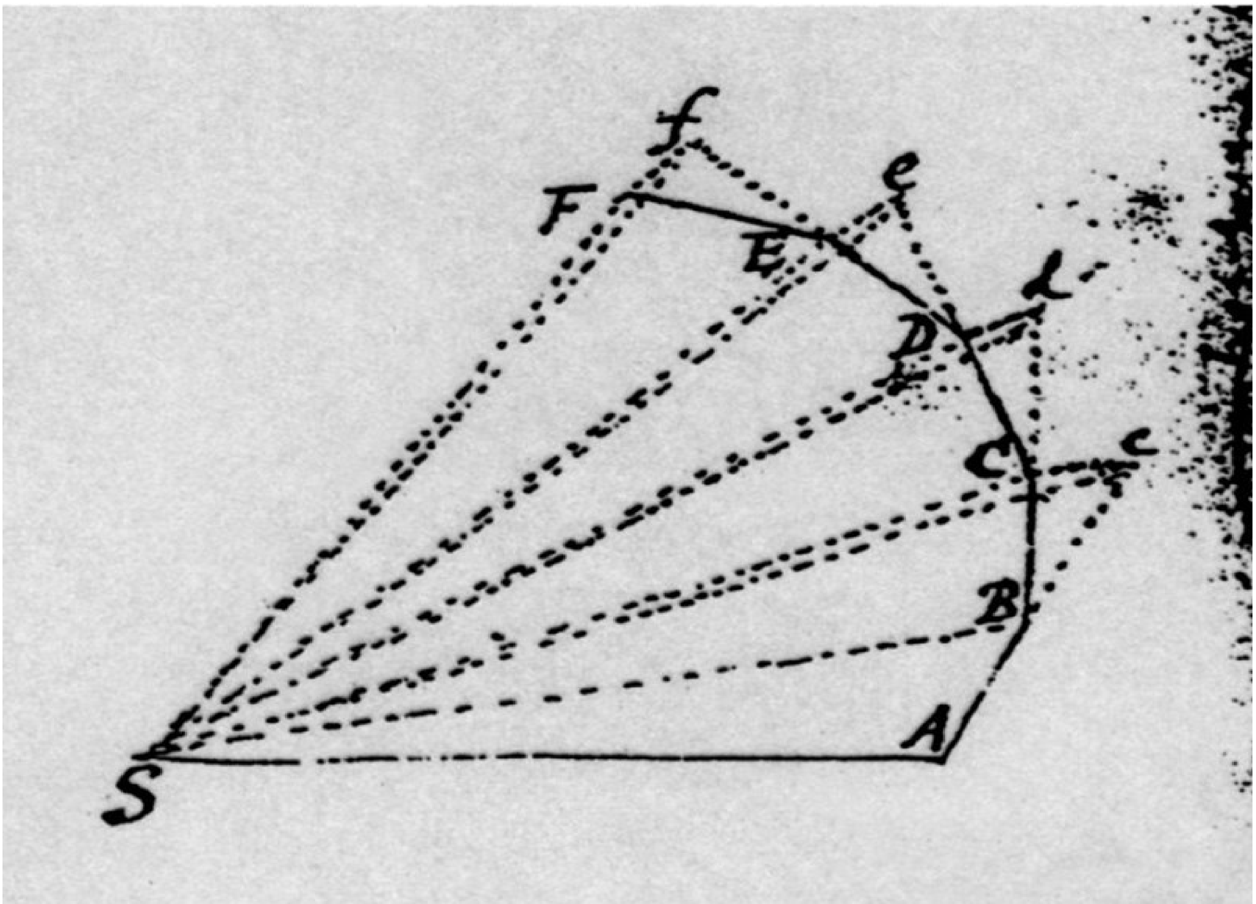
Într-un memoriu intitulat "*O situație adevărată a cazului și controversa dintre Sr Isaak Newton și Dr. Robert. Hooke ca prioritate a acelei ipoteze nobile de mișcare a planetelor în jurul*

[1] Calendar (New Style) Act 1750

Soarelui ca și centrele lor " (Gunther), nepublicat în timpul vieții, Hooke și-a descris teoria gravitației. Pentru a-și susține "prioritatea", Hooke citează prelegerile sale despre mișcările planetare din 23 mai 1666, *O încercare de a dovedi mișcarea Pământului prin observații* publicată în 1674, și corespondența din 1679 cu Isaac Newton (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960). Edmond Halley l-a rugat să producă o demonstrație diferită de a lui Newton. (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960) Din figura 1 se poate observa că construcția geometrică a lui Hooke este practic aceeași cu cea descrisă de Newton (vezi figura 2) (Newton, Mathematical Principles).



(*Figura 1: Diagrama parțială a lui Hooke din sept. 1685 pentru o aproximare discretă la o orbită eliptică.*)



(*Figura 2: Diagrama din De Motu asociată cu dovada lui Newton care arată construcția unei orbite discrete.)*

În memoriul său, Hooke povestește că deja în 1666 el a sugerat că mișcarea planetelor în jurul soarelui poate fi înțeleasă prin "inflexiunea unei mișcării directe [mișcare inerțială] într-o curbă printr-un principiu atrăgător," atracția gravitațională a soarelui. (Hooke) În monografia sa din 1674 Hooke a enunțat "presupunerea" legii gravitație universale astfel:

> ”toate corpurile celeste au o atracție sau o putere gravitantă față de centrele lor, prin care atrag nu numai propriile lor părți și le împiedică să zboare de la ele, așa cum am observat că Pământul face, dar și atrage alte corpuri celeste care se află în sfera activității lor.” (Hooke),

presupunând că

> ”... nu numai Soarele și Luna au o influență asupra corpului și a mișcării Pământului și Pământul asupra lor, dar că Mercur, de asemenea Venus, Marte, Saturn și Jupiter, prin puterile lor atractive, au o influență considerabilă asupra mișcării sale ca în același mod cum puterea

atrăgătoare a Pământului are o influență considerabilă asupra fiecărei mișcări.” (Hooke) [15]2

Apărarea lui Newton

Newton a negat că Hooke trebuia să fie creditat ca autor al ideii. Printre motive, Newton a reamintit că ideea a fost discutată cu Sir Christopher Wren înaintea scrisorii lui Hooke din 1679. (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Newton a afirmat că chiar dacă ar fi auzit dinainte despre proporția inversă a lui Hooke, el ar avea în continuare anumite drepturi în ceea ce privește demonstrațiile sale cu acuratețe. Hooke, fără dovezi în favoarea presupunerii, putea doar să ghicească faptul că legea pătratelor inverse este aproximativ valabilă la distanțe mari de centru. (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

În plus, manuscrisele scrise de Newton în anii 1660 arată că însuși Newton, până în 1669, a ajuns la dovezi despre relația invers-pătrată cu distanța de la centru. (Whiteside, 1991)

Pe de altă parte, Newton a recunoscut, în *Principia*, contribuția lui Hooke alături de alți oameni de știință: "totuși nu mă gândesc la el că m-ar fi luminat în acea problemă, ci numai pentru devierea pe care mi-a dat-o de la celelalte studii pentru a mă gândi la aceste lucruri și pentru dogmatismul său în scris că ar fi găsit mișcarea eliptică, ceea ce m-a făcut să o încerc ... „ (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Controversa în opinia altor oameni de știință contemporani

O prezentare a monografiei lui Hooke din 1674 care introducea ideea gravitației universale a apărut în *Philosophical Transactions* din 1674, (Newton, Mathematical Principles) și ulterior

[2] Această carte este intitulată The System of the World, care sunt aceleași cuvinte pe care Hooke le-a folosit pentru a-și introduce teoria gravitației universale în tractul său din 1674, An Attempt to prove the Motion of the Earth by Observations.

mai multe scrisori care conțineau observații, inclusiv una de Huygens. Dar, evident, după publicarea *Principiei* în 1687, prioritatea lui Hooke în propunerea gravitației universale a fost uitată.

După ce a auzit despre solicitarea lui Hooke de a i se recunoaște prioritatea, Newton a eliminat numeroasele referiri la Hooke din *Principia*. Într-o scrisoare către Halley, Newton afirma:

> ”... el [Hooke] nu știa cum să procedeze. Acum nu este așa foarte bine? Matematicienii care află, stabilesc și fac toată treaba trebuie să se mulțumească cu a fi niște simpli calculatori și alții care nu fac altceva decât să pretindă că înțeleg toate lucrurile trebuie să îndepărteze toată invenția, precum și pe cei care urmau să o urmeze el ca și pe cei care au mers înainte.” (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Potrivit lui David Gregory, care l-a vizitat pe Newton la Cambridge în 1694, "am văzut un manuscris [scris] înainte de 1669 ... în care sunt stabilite toate fundamentele filozofiei sale: gravitația Lunii la Pământ și a planetelor la Soare. Și, de fapt, toate acestea chiar și atunci sunt supuse calculului ...." (Herivel) Acest manuscris arată că Newton mersese mai departe decât Hooke, redescoperind relația matematică care fusese descoperită mai devreme de Huygens, dar care nu a fost publicată până în 1673. În corespondența sa din 1686 cu Halley, în care a respins acuzațiile că ar fi învățat despre dependența pătratelor inverse de la Hooke, Newton a remarcat că ”domnul Hook, fără să știe ce am găsit din scrisorile sale, nu poate ști mai mult decât că proporția era duplicată *quam proxime* [aproximativ] la distanțe mari de la centru, și doar a ghicit-o pentru a fi atât de precis, și a ghicit greșit extinzând acea proporție până la chiar centrul ...” (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Newton a folosit în mod repetat cuvântul "ghici" pentru a indica faptul că Hooke nu a furnizat nicio dovadă matematică pentru presupunerea sa că "atracția este întotdeauna în proporție dublă față de distanță față de centrul reciproc", așa cum Hooke îi scrisese. (002) Într-o scrisoare către Halley, Newton a subliniat că în acest sens

> ”Teoria am expus-o clar înaintea d-lui Hook. Pentru că, aproximativ un an după [1673], în încercarea sa de a dovedi mișcarea Pământului, a declarat în mod expres că gradele prin care gravitația a scăzut nu s-a verificat experimental, adică el nu știa cum să o obțină din fenomene, și, prin urmare, el acolo recomandă să o continue alții.” (Newton, Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687), 1960)

Ce spun susținătorii lui Isaac Newton

Oamenii de știință din secolul al șaptesprezecelea au respins în mod rezonabil revendicarea lui Hooke, dar istoricii științei nu au uitat această controversă, continuând dezbaterea și în prezent. Judecata pe care Lohne o citează cu aprobarea lui Vavilov afirmă că în secolul al XVII-lea, numai Newton ar fi putut scrie *Principia*; cu toate acestea, Hooke a schițat primul programul său, (Lohne, 1960) dar Hooke a primit mai mult decât i se cuvenea. (Westfall, 1967) Datorită lipsei de demonstrații, istoricii au fost predispuși să-i interpreteze cuvintele în lumina demonstrațiilor lui Newton. (Koyré, 1851)

Hooke a fost atacat pe teme care făceau parte din ideologia Societății Regale și care au fost apărate de oameni ca Boyle, Joseph Glanvill și Thomas Sprat.

Ce spun susținătorii lui Robert Hooke

Prietenul lui Hooke, ziaristul John Aubrey, a pledat pentru cazul lui Hooke, scriind în disperare anticarului Anthony à Wood, care atunci își compunea teoria sa Athenae Oxonies. Mai multe lucrări actuale ale lui P. E. B. Jourdain, A. Koyré, J. Lohne, F. F. Centore, R. S. Westfall, H. Erlichson, O. Gal, J. Bennett și alții, evidențiază contribuțiile importante ale lui Hooke la gravitație și teoria planetară.

Hooke, considerat "mecanic de geniu”, mai degrabă decât un om de știință", (Gal, Meanest Foundations) a fost de multe ori în dezavantaj social față de Newton, nobilul teoretician (Vickers),

sau Huygens. Statutul social inferior al lui Hooke nu i-a permis să se identifice cu "domnii liberi și neîngrădiți", cum ar fi, de exemplu, Boyle [3].

Matematicianul și filosoful Newton părea multor colegi ceea ce Glanvill a numit un "dogmatician" care "trădează o sărăcie și o îngustare a spiritului" și, fiind "prea încrezător în opinii", arătând "maniere rele și nemurire".

Datorită lucrărilor lui Pugliese și a interpretările oferite de Michael Nauenberg, Hooke a fost reevaluat în prezent ca un bun matematician. (Pugliese) (Nauenberg M. , Seminarul contribuției lui Robert Hooke la dinamica orbitală)

Hooke poate fi înțeles, după cum a arătat Gal, numai prin plasarea lucrării sale asupra teoriei planetare în contextul larg al intereselor sale multiple. (Bennett)

În *Biografie universală* a lui Michaud, care cuprinde aproximativ o sută de volume, articolul "Newton" pare a fi o traducere din *Biographia Britannica* la care se referă. Aceasta conține reprezentarea universului în conformitate cu legea gravitației, literal și *in extenso*, în conformitate cu *O încercare de a demonstra mișcarea pământului din observații* a lui Robert Hooke, Londra, 1674. Articolul afirmă în continuare că punctul principal, și anume că gravitația se extinde asupra tuturor corpurilor celeste, a fost deja exprimată în *Theoria motus planetarum e causis physicis deduct a* a lui Borelli, Florența, 1666.

Schopenhauer recunoaște contribuția lui Hooke concepția fundamentală a gravitației și lăsă lui Newton doar verificarea prin calcule. Potrivit acestui punct de vedere, Hooke a evoluat la fel de rău ca și Columb: continentul se numește "America", iar gravitația se numește "teoria lui Newton" (Schopenhauer, 2013)

---

[3] Cuvintele lui Thomas Sprat citate în "Introducerea" lui Michael Hunter și Simon Schaffer la Robert Hooke, New Studies, 13

Concluzii

Întrebarea rămâne, în ce măsură s-a inspirat Newton din corespondența lui cu Hooke din 1679. Jurnalul lui Newton, publicat în cartea "*Waste*", arată că prin 1664 el analiza deja mișcarea circulară uniformă prin acțiunea unei secvențe de impulsuri pe un corp în mișcare îndreptate către centrul orbitei circulare (Herivel). Dacă luăm în considerare acest aspect, Newton nu învățase abordarea mișcării orbitale de la Hooke [4]. Dar în scrisoarea lui către Hooke din 28 noiembrie, Newton a susținut că nu știa că Hooke avea viziuni similare asupra mișcării orbitale, deși citise monografia lui Hooke din 1674. Dar fără ideile lui Hooke exprimate în 1679, este foarte probabil că Newton nu s-ar fi focalizat pe gravitație.

De asemenea, rămâne deschisă controversa dacă mențiunea lui Hooke din 1679 a "compunerii mișcărilor" l-a ajutat pe Newton. Oricum, mai mulți autori au afirmat că Newton a preluat multe idei de la Hooke [5]. Din păcate majoritatea documentelor personale ale lui Hooke sunt distruse sau dispărute.

Mulți istorici ai controversei dintre Hooke și Newton referitor la prioritatea legii gravitației au fost de acord cu invectivele lui Newton adresate lui Hooke. Dar recunosc în același timp că Hooke a avut o înțelegere calitativă a gravitației ca o cauză a mișcărilor planetare, chiar dacă Newton a fost capabil să construiască o structură matematică cantitativă bazată pe ipoteza lui Hooke. Practic, este vorba de o evoluție în elaborarea legii gravitației universale, de la "simpla intuiție" a lui Hooke la sinteza lui Newton.

---

[4] Westfall, Never at Rest, 383.

[5] Fragmente din discuție se găsesc de exemp0lu în următoarele lucrări: N Guicciardini, "Reconsidering the Hooke-Newton debate on Gravitation: Recent Results", in Early Science and Medicine, 10 (2005), 511-517; Ofer Gal, "The Invention of Celestial Mechanics", in Early Science and Medicine, 10 (2005), 529-534; M Nauenberg, "Hooke's and Newton's Contributions to the Early Development of Orbital mechanics and Universal Gravitation", in Early Science and Medicine, 10 (2005), 518-528.

Matematicianul francez din secolul XVIII, Alexis-Claude Clairaut, a rezumat sugestiv această controversă: "Exemplele lui Hooke servesc pentru a arăta ce distanță există între un adevăr care este văzut și un adevăr care este demonstrat." (Nauenberg M. , Seminarul contribuției lui Robert Hooke la dinamica orbitală).

Bibliografie

An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations. (n.d.). Retrieved from http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView/ECHOzogiLib?mode=imagepath&url=/mpiwg/online/permanent/library/XXTBUC3U/pageimg

Bennett. (fără an). *Filosofia mecanicii și filozofia mecanică.*

Bongaarts, P. (2014). *Quantum Theory: A Mathematical Approach.* Preluat de pe https://books.google.com/books?id=Cc6lBQAAQBAJ&pg=PA11

Chandrasekhar, S. (2003). *Newton's Principia for the common reader.* Oxford: Oxford University Press.

Gal. (2005). The Invention of Celestial Mechanics. *Early Science and Medicine*(10), 529-534.

Gal. (fără an). *Meanest Foundations.*

Guicciardini, N. (2005). Reconsidering the Hooke-Newton Debate on Gravitation: Recent Results. *Early Science and Medicine, 10*(4), 510-517. Retrieved 10 23, 2017, from http://www.jstor.org/stable/4130420

Gunther, R. (fără an). *Early Science în Oxford.*

Herivel. (fără an). *Background.*

Hooke, R. (fără an). A True State of the Controversy.

Koyré. (1851). Gravitația universală de la Kepler la Newton. *Arhivele internationale de istorie a științelor*(iv), 638-653.

Lohne, J. (1960). Hooke versus Newton. *Centaurus*(vii), 42.

Nauenberg, M. (2005). Hooke's and Newton's Contributions to the Early Development of Orbital Dynamics and the Theory of Universal Gravitation. *Early Science and Medicine, 10*(4), 518-528. Preluat de pe http://www.jstor.org/stable/4130421

Nauenberg, M. (2005). Hooke's and Newton's Contributions to the Early Development of Orbital mechanics and Universal Gravitation. *Early Science and Medicine*(10), 518-528.

Nauenberg, M. (fără an). *Seminarul contribuției lui Robert Hooke la dinamica orbitală.*

Newton, I. (1960). Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687). (H. W. Turnbull, Ed.) *2*, 431-448.

Newton, I. (1960). *Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687).* (H. W. Turnbull, Ed.) Cambridge University Press.

Newton, I. (1960). *Correspondence of Isaac Newton, Vol 2 (1676-1687).* (H. W. Turnbull, Ed.) Cambridge University Press.

Newton, I. (fără an). *Mathematical Principles.*

Pugliese, P. (fără an). *Robert Hooke și dinamica mișcării pe o cale curbată.*

Purrington, R. D. (2009). *The First Professional Scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London.* Springer. Preluat de pe https://books.google.com/books?id=tJu97S3BtGIC&pg=PA168

Schopenhauer. (2013). Schopenhauer on Newton and Hooke. *The Monist, 23*(3), 439-445. Preluat de pe http://www.jstor.org/stable/27900444

Vickers. (fără an). *English Science.*

Westfall, R. S. (1967). Hooke and the Law of Universal Gravitation: A Reappraisal of a Reappraisal. *The British Journal for the History of Science, 3*(3), 245261. Preluat de pe http://www.jstor.org/stable/4025050

Whiteside, D. T. (1991). The pre-history of the 'Principia' from 1664 to 1686. *Notes and Records of the Royal Society of London*(45), 11-61.

Wilson, C. (1989). The Newtonian achievement in astronomy. În *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysics: 2A: Tycho Brahe to Newton* (pg. 233-274).